

## Impact d'électrification des zones rurales, par des systèmes photovoltaïques autonomes, sur l'économie Burundaise

A. Nsengiyumva \*

Université de Liège, Département d'Electricité, Electronique et Informatique  
Montefiore Institute, 'Building B28', Quartier Polytech 1  
Allée de la découverte N°10, 4000 Liège, Belgique

(reçu le 10 Septembre 2017 - accepté le 30 Septembre 2017)

**Abstract** - *This article is part of an assessment of the impact of the electrification of rural areas by microgrids, based on autonomous photovoltaic systems, on the Burundian economy. The work focuses on a study of the use of a system comprising photovoltaic (PV) panels associated with storage devices (battery). In this work, the proposed approach is least-squares regression, under the Gauss-Markov hypotheses. The least squares estimator is the best unbiased estimator. The results obtained are satisfactory and show us a positive impact of the electrification of rural areas by micro grids, based on autonomous photovoltaic systems, on the Burundian economy.*

**Résumé** - *Cet article s'inscrit dans le cadre d'une évaluation de l'impact de l'électrification des zones rurales par les micro-réseaux, à base des systèmes photovoltaïques autonomes, sur l'économie Burundaise. Le travail se focalise sur une étude de l'utilisation d'un système comportant des panneaux photovoltaïques (PV) associés à des périphériques de stockage (batteries). Dans ce travail, l'approche proposée est la régression aux moindres carrés, sous les hypothèses de Gauss-Markov. L'estimateur aux moindres carrés est le meilleur estimateur non biaisé. Les résultats obtenus sont satisfaisants et nous montrent un impact positif de l'électrification des zones rurales par les micro-réseaux, à base des systèmes photovoltaïques autonomes, sur l'économie Burundaise.*

**Keywords:** Renewable energies in Burundi.

### 1. INTRODUCTION

Le Burundi est un pays enclavé, qui est situé en Afrique de l'Est. Les pays limitrophes sont: à l'Est, la Tanzanie, à l'Ouest, la République Démocratique du Congo et au Nord, le Rwanda. En 2016, la population burundaise était estimée, par le Fond Monétaire International (FMI), à 9.65 millions sur une superficie de 27 834 km<sup>2</sup>. Il est parmi les pays les moins développés au monde [12, 19, 14]. Le développement durable d'un pays dépend principalement de l'énergie électrique. Cette dernière est un facteur clé dans le développement d'un pays. Cela étant, le taux d'accès aux réseaux électriques reflète le niveau de développement d'un pays [2].

Le Produit Intérieur Brut (PIB) d'un pays nous permet de diagnostiquer sa santé économique. Selon le Fond Monétaire international, en 2016, le PIB était de 2.772 milliards de \$US, donc un PIB par habitant (PIB/hab) de 287.3 \$US. Quant à la Banque Mondiale, le PIB/hab était, en 2016b, de 276 \$US. Ce faible PIB peut être expliqué par le fait que le pays est enclavé et les crises sociopolitiques sécuritaires à répétitions ; un faible taux d'accès aux réseaux électriques et que plus de 90% de sa population vivent de l'agriculture artisanale [16].

Le Burundi n'a pas réussi à construire de gros réseaux électriques afin d'acheminer l'électricité dans tous les coins du pays. Il n'a même pas intensifier des micro-réseaux pour électrifier les coins les plus reculés. Rappelons que les micro-réseaux sont des

---

\* albert.nsengiyumva@doct.ulg.ac.be

systèmes électriques répartis en une ou plusieurs sources d'énergie(s) pouvant fonctionner en parallèle avec le réseau électrique existant pour alimenter une ou plusieurs charge(s) [3].

Le Burundi possède un important potentiel solaire où l'ensoleillement moyen annuel est autour de 2000 kWh/m<sup>2</sup>/an, sans fluctuation saisonnière. La température annuelle moyenne est comprise entre 23 degré Celsius et 17 degré Celsius, en fonction de l'altitude [8].

Malgré ce potentiel, le Burundi ne parvient pas à satisfaire les besoins électriques de sa population. C'est pourquoi, nous pensons qu'un système composé par les panneaux solaires (PV) associés à des périphériques de stockage (batteries), peut être une solution qui permettrait la relance de la croissance économique en Afrique en générale et au Burundi en particulier.

Cette étude démontre l'impact des micro-réseaux sur l'économie burundaise et apporte aussi une contribution dans la recherche scientifique en mettant en exergue l'impact de la production d'électricité photovoltaïque sur l'économie d'un pays et le bien être de sa population.

## 2. ETAT ACTUEL DE L'ACCES AU RESEAU ELECTRIQUE AU BURUNDI

Dans cette section, nous allons montrer la situation actuelle du secteur énergie électrique au Burundi, en mettant un accent particulier sur l'état de la production, de la consommation, de la pointe de puissance, du facteur de charge et des pertes d'énergie.

### 2.1 Situation de la production et de la consommation de l'électricité

Le Burundi n'a pas réussi à construire de gros réseaux électriques pour fournir l'électricité nécessaire à son développement. Les réseaux électriques existants sont vieillissants et obsolètes. La majeure partie des infrastructures énergétiques, que ça soient les sites de production, les réseaux de transport et de distribution datent des années quatre-vingt [12]. Aujourd'hui, leur fonctionnement n'est pas fiable et leur résilience est faible.

Le Burundi dispose de diverses ressources en énergie, notamment des ressources hydrauliques, éoliennes, solaires et biomasses, mais elles sont faiblement ou pas du tout exploitées. Le potentiel électrique exploitable (hydroélectrique) est de 1300 MW, mais seulement 32 MW (équivalent de 2.5 %) sont exploités. L'accès à l'énergie électrique est très déplorable. Ce taux d'accès oscille autour de 5 % et la consommation moyenne annuelle de l'énergie électrique par habitant est de 23 kWh/an [8, 22].

Le **Tableau** suivant montre l'évolution, de 2010 à 2016, de la production (Prod.) et de la consommation de l'énergie électrique (Cons.), de la puissance de pointe du réseau (P.R) et des pertes électrique au Burundi, sans oublier le facteur de charge (F.C).

**Tableau 1:** Energie électrique au Burundi [REGIDESO]

|             | Prod.<br>(GWh) | Cons.<br>(GWh) | P.R.<br>(MW) | Pertes<br>(%) | F.C.<br>(%) |
|-------------|----------------|----------------|--------------|---------------|-------------|
| <b>2011</b> | 245.4          | 199.4          | 51.7         | 18.7          | 54.2        |
| <b>2012</b> | 245.9          | 199.7          | 47.0         | 18.8          | 56.7        |
| <b>2013</b> | 264.2          | 212.2          | 47.8         | 19.7          | 56.7        |
| <b>2014</b> | 265.2          | 225.6          | 57.5         | 14.9          | 52.7        |
| <b>2015</b> | 257.4          | 183.4          | 53.5         | 28.7          | 54.9        |
| <b>2016</b> | 287.4          | 195.2          | 53.4         | 32.1          | 61.4        |

Dans le **Tableau 1**, nous remarquons une baisse importante de production, consommation et la pointe de production électrique, entre 2014 et 2015. La cause est, en grande partie, la crise socio-politique qui secoue le Burundi et qui n'a pas épargné le secteur électrique.

La baisse de production enregistrée en 2015 a été rattrapée, en 2016. La baisse de consommation enregistrée en 2015 n'a pas été compensée par l'augmentation de la consommation enregistrée en 2016. La raison principale est l'augmentation des pertes, autour de 18 %, enregistrées en 2015 et 2016 par rapport de l'année 2014.

Plus exactement, l'augmentation est d'environ 4 % en 2016 par rapport à 2015 et 14 % en 2015 par rapport à 2014. La cause de cette augmentation des pertes est la vétusté des équipements de production, transport et distribution et les pertes commerciales.

Quant au facteur de charge, sauf pour l'année 2016, où il a augmenté jusqu'à 61.4 %, pour les autres années, la moyenne est de 55.2 %. La pointe de production s'est presque stabilisée à 53.4 MW, la même année.

La moyenne d'augmentation annuelle de production, de consommation et de pertes, pour les sept dernières années, est respectivement de 3.26 %, 1.94 et 17.35 %.

## 2.2 Accès au réseau électrique

Dans cette section, il est question de chercher les taux de couverture, de desserte et d'électrification dans tout le pays, au niveau provincial, afin d'avoir une idée du niveau d'électrification dans le pays [6]. Ces taux nous permettent de bien cibler les provinces pilotes pour les projets d'électrifications. Ces taux sont définis de cette façon.

### 2.2.1 Taux de couverture TC

C'est le rapport entre le nombre de ménages vivants dans les localités électrifiées et le nombre total des ménages de la zone ou du Burundi. Ce taux nous donne l'image des ménages qui sont couverts.

### 2.2.2 Taux de desserte TD

C'est le rapport entre le nombre de ménages ayant accès au réseau électrique et le nombre de ménages couverts. Ce taux est équivalent au taux de pénétration. Il nous permet de voir les ménages pouvant avoir potentiellement l'accès au réseau mais qui ne le sont pas.

### 2.2.3 Taux d'électrification TE

C'est le rapport entre le nombre de ménages ayant accès au réseau électrique et le nombre total des ménages du Burundi. C'est l'image des ménages ayant effectivement l'accès au réseau. Ce taux est équivalent au taux d'accès au réseau électrique.

## 2.3 Calcul des Taux de couverture, de desserte et d'électrification

Sur base de la philosophie de calcul du Programme des Nations Unies pour le Développement, 'PNUD' [14], dans une étude diagnostique du secteur de l'énergie au Burundi, en utilisant les données des ménages abonnés au Burundi, du rapport des projections démographiques 2008-2030 de l'Institut de Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi (ISTEEBU, 2013) et celui de projection démographiques 2010-2050 au niveau national et provincial de l'ISTEEBU, '2017', nous avons calculé ces taux de cette façon:

Soit,

$Y_{loc_{lc}}$ , les ménages vivants dans les localités électriques,  $Y_{accs_{lc}}$ , les ménages ayant accès au réseau électrique et  $Y_{Bdi}$ , le total des ménages au Burundi.

$$TC = Y_{loc_{ec}} / Y_{Bdi} \quad (1)$$

$$TE = Y_{accs_{ec}} / Y_{Bdi} \quad (2)$$

$$TD = Y_{accs_{ec}} / Y_{loc_{ec}} \quad (3)$$

$$TD = TE / TC \quad (4)$$

## 2.4 Les taux de couverture, de desserte et d'électrification par province

Les taux de couverture, de desserte et d'électrification par province sont présentés dans la figure ci-dessous. Toutes les provinces sont présentées sauf la capitale Bujumbura, considérée comme étant électrifiée, et la province de Rumonge, récemment créée et dont on n'a pas eu ses données. Néanmoins, la situation de la province de Rumonge est incluse dans la situation de la province de Bururi.

Au niveau national, les taux de desserte, de couverture et d'électrification sont respectivement de 29.47 %, 24.47 % et 7.21 %. En regardant ces taux, nous constatons que, seulement 7.21 % des ménages burundais ont accès à l'électricité. Le taux de couverture réseaux (24.47 %), à l'échelle nationale, est plus trois fois plus grande que le taux d'accès. Cela représente le nombre de ménages vivant dans des endroits où l'accès au réseau électrique est possible, mais n'étant pas forcément raccordés au réseau. Ce taux de couverture nous renseigne aussi que, au Burundi, deux ménages sur trois vivent dans des endroits où il n'y a pas de réseaux électriques.

Avec ce taux de couverture, nous pouvons généraliser que, pour raccorder tout ces ménages (soit 24.47 %), il faut produire, au moins trois fois la production de 2016. Donc, il faut construire des nouvelles unités de production et des extensions Basse Tension (BT) dans ces localités concernées. Pour la plupart des provinces, il faut aussi construire des réseaux Haute Tension et Moyenne Tension. Le taux de desserte est presque égal à un tiers des ménages. Cela veut dire que un ménage sur trois peut être connecté.

La figure suivante nous montre les taux de couverture, de desserte et d'électrification par province en 2017.

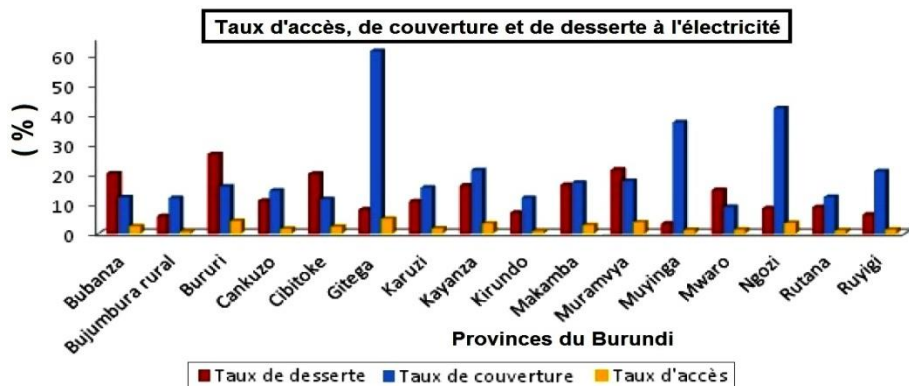


Fig. 1: Taux de couverture, de desserte et d'électrification par province en 2017 [REGIDESO]

Sur cette figure, nous constatons que les taux d'accès sont inférieurs à 5% dans toutes les provinces. Les taux de couverture sont relativement autour de 20% pour toutes les provinces, sauf les provinces de Gitega, Ngozi et Muyinga, qui ont respectivement 60.9

%, 41.8 % et 37.1 %. La province de Bujumbura rurale vient en dernier avec moins de 1 %.

Les causes principales sont sa géographie et la population éparpillée dans cette province. Les taux de desserte sont, pour toutes les provinces, inférieur à 27 %. La province de Bururi prend le devant avec 26.5 % et Muyinga vient en dernier lieu avec 3.3 %.

## 2.5 Analyse de la couverture du réseau électrique par province au Burundi

La figure suivante nous montre la couverture du réseau électrique sur l'échelle provinciale au Burundi. Nous constatons que, sauf Bujumbura (85.90 %, la capitale du pays) et Gitega (60.93 %, 2<sup>ème</sup> ville du pays), les taux de couverture pour les autres provinces sont en dessous de 50 %.

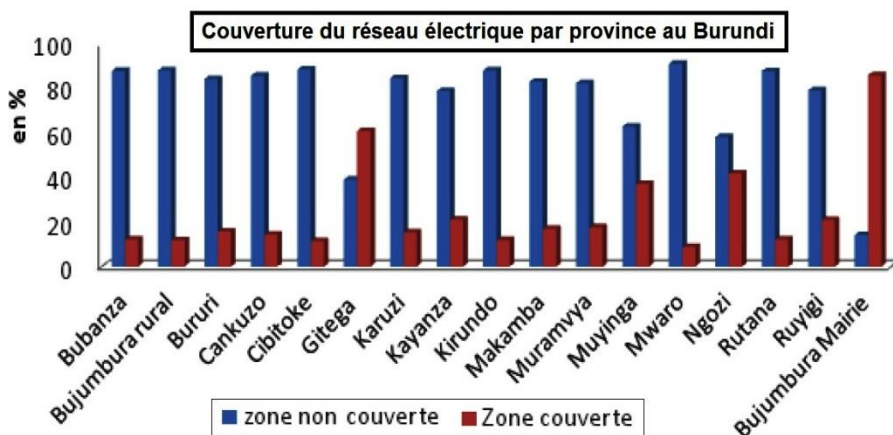


Fig. 2: Taux de couverture réseau par province [REGIDESO]

Il faut signaler que la province de Ngozi (41.80 %) et Muyinga (37.11 %) sont des bonnes élèves. les autres, leurs taux sont inférieurs ou égal à 20 %. Ces taux de couverture nous montrent qu'en milieu rural, l'accès aux réseaux électriques est très difficile et même les extensions des BT ne pourront pas résoudre leur problème.

La majeure partie de la population vit dans le noir et pour sortir de cette situation, il faudrait construire des nouvelles unités de production, des réseaux de transport (Haute Tension et Moyenne Tension) et de distribution dans ces localités.

Le Burundi n'a pas les capitaux pour augmenter la puissance minimale estimée, par la REGIDESO, à 250 MW à l'horizon 2020 sans compter la puissance nécessaire pour l'extraction des minerais. En juin 2015, la REGIDESO estimait aussi qu'il fallait 23 Millions USD pour la réhabilitation du réseau, 1.297 million USD d'assistance technique et 45.2 Million USD pour les lignes. La solution serait de s'orienter vers les micro-réseaux.

A titre d'exemple, une centrale solaire de 7.5 MW (15 % de la capacité énergétique nationale) pour 20 Million USD, en construction à Gitega, alimentera 60 000 foyers.

## 3. FORMULATION DU PROBLEME

La croissance économique du Burundi est très faible malgré les programmes mis en place pour ça. En 2009 et 2012, deux programmes {Cadre Stratégique de Croissance et

de Lutte contre la Pauvreté (CSLP I et CSLP II)} ont été mis en place par la FMI pour relancer cette croissance, mais les effets sont pervers. Le manque de l'électricité est à la source de cet échec et c'est un défi que le Burundi doit relever pour espérer relancer la croissance de son économie. Les zones rurales sont souvent oubliées alors que 87.5 % de la population burundaise vivent dans ces milieux ruraux et le taux d'accès au réseau est autour de 2 - 3 % tandis qu'en milieux urbains, le taux est autour de 50 - 60 %.

Le Burundi se concentre beaucoup plus dans la politique de développer de nouvelles infrastructures hydroélectriques régionales {Rusumo-Falls 81 MW et Ruzizi III 147 MW où le Burundi en tirera 1/3 de la production} et nationales {Mpanda: 10.4 MW, Kaburantwa: 20 MW, Jiji: 2 MW et Mulembwe: 17 MW, Ruzibazi: 17 MW, Kagunuzi: 12 MW}. Cette politique, même si elle n'est pas mauvaise, demande beaucoup d'investissements et prend du temps (depuis l'étude jusqu'à sa mise en œuvre).

Le Burundi doit changer sa politique énergétique et s'orienter beaucoup plus vers les micro-réseaux de taille provinciale, communale, et même résidentielle qui sont à la hauteur de ces finances. Ces petits projets sont souvent considérés comme des projets qui ne génèrent pas beaucoup de bénéfice à l'Etat ou ne peuvent pas accroître l'économie d'un pays, alors qu'ils sont générateurs des revenus, des petits métiers et sont finançables par le pays sans attendre les fonds de l'extérieur. Les projets de grande envergure se heurtent sur le problème de financement et le fait que ça prend beaucoup plus de temps, comme c'est le cas pour le Burundi.

#### **4. IMPACT DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES SUR L'ECONOMIE BURUNDAISE**

Le Produit Intérieur Brut (PIB) permet de diagnostiquer la santé économique d'un pays. Dans ce chapitre, nous commencerons à présenter la prévision du PIB en fonction de l'évolution de la population. Ici, le paramètre population est supposé comme exogène, compte tenu de l'estimation de l'évolution de la population faite par l'ISTEEBU (Avril 2017) [17, 16]. Ensuite, nous présenterons l'estimation de la consommation électrique à l'horizon 2030, en fonction du PIB. Finalement, nous allons prédire l'impact de cette consommation sur le PIB.

La corrélation historique existant entre ces deux paramètres principaux (PIB et population), nous permet d'estimer l'évolution du PIB à l'horizon 2030. De la même façon, la corrélation historique existant entre le PIB et la consommation d'électricité nous permet de prédire l'évolution de la consommation électrique jusque en 2030. En fixant la consommation comme paramètre exogène et sur base de la corrélation historique entre la consommation d'électricité et le PIB, nous pouvons calculer l'impact de la consommation électrique sur le PIB.

##### **4.1 Estimation de la consommation horizon 2030 au Burundi**

Pour atteindre notre objectif, nous avons utilisé les données de la Banque de la République du Burundi (BRB) 'Rapport du comité de politique monétaire (Juin 2017)' [1].

Nous avons aussi consulté les rapports des projections démographiques 2008-2030 de l'ISTEEBU (Décembre 2013) et celui des projections démographiques 2010-2050 au niveau national et provincial de l'ISTEEBU (Avril 2017) [16, 17].

##### **4.1.1 Méthodologie de calcul**

La méthodologie adoptée, dans cette section, est basée sur l'analyse du passé pour déterminer le futur. Cela est possible grâce à une étude économétrique, qui nous donne une estimation réaliste de la demande. L'approche proposée est la régression aux

moindres carrés, sous les hypothèses de Gauss-Markov (ci-dessous énoncées), car l'estimateur aux moindres carrés est le meilleur estimateur non biaisé [7].

Cette approche permet de trouver la relation existante entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes. C'est cette relation qui nous permet de prédire la variable indépendante. Pour le cas de la prévision de la demande d'électricité, ces variables dépendantes et indépendantes sont respectivement : la consommation d'électricité et les paramètres socio-économiques (ci-haut cités) tandis que pour le cas d'estimation de l'impact des micro-réseaux sur l'économie Burundaise, la variable dépendante sera le PIB et les variables indépendantes deviennent la consommation d'électricité et la population.

L'objectif est de minimiser le carré des erreurs entre l'historique de la production d'énergie réelle et celle corrélée aux variables indépendantes. Nous avons choisi la régression linéaire et même pour estimer l'impact des projets d'électrification des zones non couvertes par le réseau actuel avec des micro-réseaux, comportant des panneaux photovoltaïques (PV) associés à des périphériques de stockage (batteries).

## 4.2 Hypothèse

Notre hypothèse est que l'électrification des zones rurales par les micro-réseaux, à base des systèmes photovoltaïques autonomes, contribue beaucoup dans le développement économique d'un pays et sur le bien être de la population vivant dans les zones non couvertes.

### 4.2.1 Théorème de Gauss-Markov

Les théorèmes de Gauss-Markov supposent que, dans un modèle linéaire, toutes les erreurs ont une espérance nulle, sont non corrélées et ont la même variance. L'estimateur aux moindres carrés est le meilleur estimateur linéaire, avec ces deux propriétés importantes: être non biaisé et optimale. Ces théorèmes sont les suivants:

#### Théorème 1

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + u \quad (5)$$

Où,  $y$ , est une variable dépendante de  $x_j : j = 1, \dots, k$ ;  $\beta_0 + \beta_1 + \dots + \beta_k$ , un vecteur des paramètres inconnus;  $\beta_j : j = 1, \dots, k$ , les paramètres du modèle à estimer;  $u$ , est une erreur.

#### Théorème 2

Pour une observation  $i = 1, \dots, n$ , nous avons:

$$y_i = \beta_0 + \beta_{i1} x_{i1} + \beta_{i2} x_{i2} + \dots + \beta_{ik} x_{ik} + u_i \quad (6)$$

où:  $(x_i; y_i) : i = 1, \dots, n$ ;  $n$  est une échantillon aléatoire de  $n$  observations.

#### Théorème 3

$$x_j : j = 1, \dots, k \quad (7)$$

Où,  $x_j$ , est une variable indépendante.

#### Théorème 4

$$E(u | x_1 x_2 \dots x_k) = 0 \quad (8)$$

Où :  $E$ , est l'espérance de l'erreur. Elle est toujours égale à zéro  $\forall x_j$ .

### Théorème 5

La variance de l'erreur est la même pour  $\forall x_j$ .

$$\text{Var} (u|x_1 x_2 \dots x_k) = \sigma^2 \quad (9)$$

Où:  $\sigma^2$  est un paramètre à estimer.

$$\text{Cov} (u_t, u_s) = 0 \quad (10)$$

$$\text{Var} (u|X) = \sigma^2 I_n \quad (11)$$

Où:  $\sigma^2 I_n$ , Matrice de variance/covariance.

L'estimateur des moindres carrés ordinaires peut être remplacé par une estimation des paramètres d'un modèle économétrique:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + u$$

Ce modèle économétrique peut s'écrire sous forme matricielle de cette façon:

$$Y = f(x) \quad (12)$$

$$= a x + b \quad (13)$$

Où:  $Y$ , est un paramètre endogène;  $x$ , est un paramètre exogène;  $a$  et  $b$ , sont des paramètres à estimer.

Pour la  $i^{\text{ème}}$  observation; notre état estimé:

$$y_i = \beta_0 + \beta_{i1} x_{i1} + \beta_{i2} x_{i2} + \dots + \beta_{ik} x_{ik} + u_i$$

peut être écrite de cette façon:

$$\hat{Y} = \hat{a} x + \hat{b} \quad (14)$$

Les théorèmes 4 et 5 nous permettent d'estimer les paramètres  $a$  et  $b$  de la manière suivante:

$$\hat{a} = \frac{\text{COV}(x, y)}{\text{Var}(x)} \quad (15)$$

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^k (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum_{i=1}^k (x - \bar{x})^2} \quad (16)$$

$$\hat{b} = \bar{Y} - \hat{a} \bar{X} \quad (17)$$

L'état estimé devient alors:

$$\hat{Y} = \frac{\text{COV}(x, y)}{\text{Var}(x)} X + \bar{Y} - \hat{a} \bar{X} \quad (18)$$



$$\hat{Y} = \frac{\sum_{i=1}^k (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum_{i=1}^k (x - \bar{x})^2} X + (\bar{Y} - \hat{a} \bar{X}) \quad (19)$$

## 5. RESULTATS ET ANALYSE DES ESTIMATIONS DE LA CONSOMMATION ET IMPACT DES MICRO-RESEaux

Ces prévisions sont faites sur base de quatre scénarios choisis en tenant compte de la vétusté des équipements de production, transport et distribution, de la non fiabilité et la résilience du réseau actuel, du taux des zones non couvertes par le réseau et de la géographie du Burundi, et des possibilités financières du pays, ainsi que le pouvoir d'achat de la population Burundaise.

Chaque scénario est défini par l'énergie électrique que nous voulons ajouter ou d'une puissance crête installée au niveau national. Nous avons commencé l'ajout de ces systèmes PV autonomes à partir de l'année 2018.

Les tendances nous a permis de choisir un système PV autonome compatible avec les conditions ci-haut citées. Ces quatre scénarios sont respectivement, l'ajout d'un système PV autonome apportant 5 %, 7.5 %, 10 % et 15 % d'énergie électrique au niveau national.

### 5.1 Analyse de la prévision de la consommation

Le choix des provinces à électrifier en premier, le long de cette période, peut être dicté par les critères politico-économiques du pays.

Le critère politique peut être par exemple: l'électrification des chefs-lieux des communes et des zones se trouvant dans ces localités non couvertes.

Le critère économique peut être par exemple: priorité pour les provinces capable d'influencer la croissance socioéconomique, comme dans le commerce, les hôpitaux & centre(s) de santé, les écoles, le tourisme, etc.).

La figure suivante nous montre l'estimation de la consommation jusque en 2030, sans et avec ajout d'un système PV.

Nous observons une légère croissance sur la courbe de la prévision de la consommation sans l'ajout d'un système PV au Burundi. Cette augmentation, de 27.5 % dans 13 ans, ne résout pas le problème du manque de l'énergie électrique au Burundi.

Rappelons que, dans les prévision de la REGIDESO, le Burundi a besoin de 250 MW, sans compter celle nécessaire pour l'exploitation des minerais.

Donc une augmentation de 257.5 % à l'horizon 2030. L'ajout d'un système PV pouvant apporter 10 % de l'énergie annuellement, équivalent de 5 MW de puissance, pourrait soulager la population vivant dans les zones non couvertes.

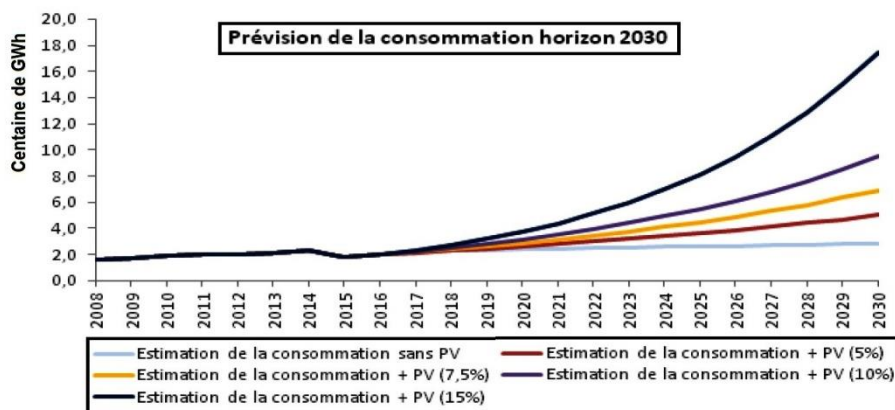


Fig. 3: Prévision de la consommation horizon 2030

L'ajout annuel d'un système PV de 5 MW (c'est-à-dire 10 % de l'énergie actuelle) coûtera 15 million USD annuellement et alimentera 50 000 foyers. Avec cette politique énergétique, le Burundi sera capable d'électrifier les zones reculées et d'espérer une relance de la machine économique, car le potentiel solaire est suffisant pour le faire.

## 5.2 Analyse de l'impact de l'utilisation des micro-réseaux sur l'économie Burundaise

La figure ci-dessous nous montre la prévision de l'impact de l'utilisation des micro-réseaux, à base des énergies renouvelables. Nous avons comparé la prévision de la FMI avec notre prévision résultant de la simulation de la régression linéaire pour les cas: sans l'ajout d'un système PV, avec l'ajout d'un système PV apportant 10 % d'énergie électrique, l'année 2018 seulement, et avec un système PV apportant 10% de l'énergie électrique ajouté annuellement.

Sur cette figure, nous observons une diminution du PIB au cours de l'année 2015, suite à la crise sociopolitique qui secoue le pays depuis 2015. Nous remarquons aussi, une grande ressemblance entre notre prévision, qui résulte de la simulation, et celle de la FMI. Cela ne fait que confirmer nos hypothèses.

De plus, nous constatons qu'une augmentation annuelle de 10% de l'énergie électrique au niveau national accroîtrait la PIB à environ quatre Milliards de \$US à l'horizon 2030, donc une augmentation de 73 % dû par les projets d'électrifications des zones non couvertes. Si cette augmentation d'énergie électrique était d'origine renouvelable, comme des systèmes comportant des panneaux photovoltaïques (PV), ça permettrait l'électrification des régions non couvertes par le réseau actuel et la protection de l'environnement.

## 6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons démontré l'impact des micro-réseaux, à base des énergies renouvelables, comportant des panneaux photovoltaïques (PV) associés à des périphériques de stockage (batteries), sur l'économie du Burundi pour le secteur énergie seulement.

Malgré les problèmes liés au manque d'énergie électrique au Burundi, ce travail nous montre aussi que le Burundi peut relever ce défi en s'appuyant sur

son potentiel solaire pour électrifier les zones rurales non couvertes et booster sa machine économique.

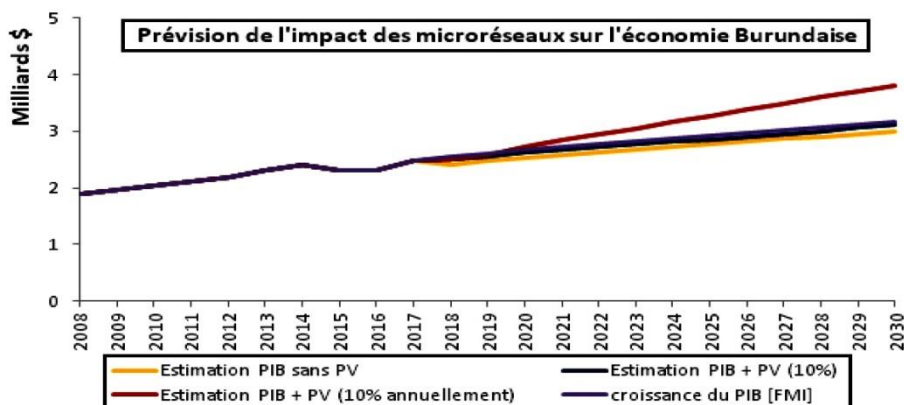


Fig. 4: Prévision de l'impact des micro réseaux sur l'économie Burundaise.

Nous avons vu que les micro-réseaux à base des énergies renouvelables, surtout des systèmes comportant des panneaux photovoltaïques 'PV' associés à des périphériques de stockage (batteries) ont un impact positif sur l'économie du Burundi et dans notre cas, le PIB aurait augmenté de 73 % à l'horizon 2030.

Faisons remarquer, toutefois, que la mise en place de ces micro-réseaux se heurterait au problème lié à l'investissement, d'où le gouvernement du Burundi devrait intervenir afin de trouver des fonds pour ces projets.

En perspective, comme les micro-réseaux peuvent être appliqués dans plusieurs domaines de la vie économique d'un pays, il serait intéressant d'estimer son impact sur d'autres secteurs de la vie économiques du Burundi, afin de mettre en évidence l'impact sur l'économie Burundaise dans l'ensemble.

## REFERENCES

- [1] Banque de la République du Burundi, '*Rapport du Comité de Politique Monétaire*', URL: <http://www.brb.bi/>, Profil de pays-Burundi', 'Commission Economique pour l'Afrique', URL: [www.uneca.org/publications](http://www.uneca.org/publications), Mars 2017.
- [2] S. Furfari, '*Dieu, l'Homme et la Nature: L'Ecologie, Nouvel Opium du Peuple*', Amazone 2014.
- [3] D. Ernst, '*Microgrids and Their Destructuring Effects on the Electrical Industry*', 2014.
- [4] I. Irradiation and A.B. Faso, '*Dimensionnement d'une Installation Solaire Autonome En Site Isolé (montagne, Burkina Faso,...)*', 2 p., 2001.
- [5] IBGE, 'Une Installation Photovoltaïque en Site Isolé', p. 785, 2011.
- [6] Rapport PNUD - '*Taux de Couverture, Taux de Desserte et Taux d'Electrification. Définitions et Modes de Calculs pour les différentes Filières, Electrique, Energie Domestique et Force Motrice*', 2007.
- [7] A. Guyader, '*Régression Linéaire*', Université Rennes 2, 2012/2013.

- [8] P. Houée, '*Opportunités dans le Secteur des Energies Renouvelables au Burundi*'.
- [9] B. Africaine, '*Un Meilleur Accès à l'Energie pour les Africains*'.
- [10] Conférence des Ministres Africains de l'énergie, '*Les enjeux des technologies d'énergie renouvelable dans la lutte contre la désertification*', 2004.
- [11] Africa Energy Outlook, '*Une étude sur les perspectives énergétiques de l'Afrique Subsaharienne*', 2014.
- [12] Banque Africaine de Développement, '*Un plan d'action pour les infrastructures au Burundi*', 2009.
- [13] S. Chatzivassileiadis, D. Ernst, and G. Andersson, '*The Global Grid*', Renewable Energy, Vol. 57, pp. 372 – 383, 2013.
- [14] PNUD Burundi,  
URL: <http://www.bi.undp.org/content/burundi/fr/home/countryinfo.html>
- [15] Banque Mondiale, '*Données de la banque mondiale sur le Burundi*:  
URL : <https://donnees.banquemondiale.org/pays/burundi?view=chart>
- [16] Institut de Statistiques et d'Études Économiques du Burundi, '*Rapport des projections démographiques 2008-2030*'.  
URL : <http://www.isteebu.bi/>, (Décembre 2013)
- [17] Institut de Statistiques et d'Études Économiques du Burundi, '*Projections démographiques 2010-2050 niveau national et provincial*'.  
URL: <http://www.isteebu.bi/>, (Avril 2017)
- [18] Rapport du Fonds Monétaire International, '*Cadre Stratégique de Croissance et de Lutte contre la Pauvreté - Second Rapport de Mise en Oeuvre*', URL: <http://www.imf.org>, Octobre 2010
- [19] Rapport du Fonds Monétaire International, '*Les consultations de 2014 avec le Burundi au titre de l'article IV et sur la cinquième revue de l'accord triennal au titre de la facilité élargie de crédit et la demande de modification de critères*', URL: <http://www.imf.org>, (juillet, 2014).
- [20] <http://www.statistiques-mondiales.com/continents.htm>,
- [21] <http://www.isteebu.bi>,
- [22] <http://www.regideso.bi>,